

ANALISA SIFAT MEKANIK PROSES PACK CARBURIZING AISI 4340 DENGAN TEMPERATUR KRISTALISASI 725°C MENGGUNAKAN KARBON TANDAN KELAPA

Sheliona Pratiwi^{1*}, Abdul Khair Junaidi², Weriono² dan Ibrahim Ahmad Rambe²

¹ Program Doktor Ilmu Lingkungan, Universitas Riau

Jl. Kampus Bina Widya Km 12,5 Simpang Baru Kota Pekanbaru, Riau 28293.

² Jurusan Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Pekanbaru

Jl. Dirgantara No.4, Kel., Sidomulyo Tim., Kec. Marpoyan Damai, Kota Pekanbaru, Riau 28125.

*Email: sheliona.pratiwi@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini menganalisis sifat mekanik baja AISI 4340 setelah proses pack carburizing menggunakan karbon dari tandan kelapa pada temperatur kristalisasi 725°C. Metode carburizing yang digunakan dengan menggunakan pack yang terbuat dari stainless steel yang ditutup rapat. Pada pack terdapat karbon tandan kelapa, spesimen uji dan katalis abu kerang sebanyak 10% sebagai katalis. Tujuan utama adalah mengetahui perubahan kekerasan permukaan, kekuatan impact, kekuatan tarik dan struktur mikro setelah karburisasi, serta pengaruh serbuk tandan kelapa sebagai media karbon. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebelum carburizing, baja AISI 4340 memiliki kekerasan permukaan 78.9 HRC, kekuatan impact 129.56 Joule, kekuatan tarik 948.8 MPa dan struktur mikro terdiri dari perlite dan ferrite. Setelah carburizing dengan media karbon tandan kelapa dan katalis abu cangkang kerang 10%, kekerasan permukaan meningkat menjadi 94.5 HRC, kekuatan impact menjadi 175.2 Joule, kekuatan tarik menjadi 1,012.9 MPa, patahan tetap berbentuk cup and cone menunjukkan sifat mekanik ulet dan struktur mikro terbentuk perlite, ferrite serta banit. Kesimpulannya, penggunaan serbuk karbon tandan kelapa dalam proses pack carburizing meningkatkan sifat mekanik baja AISI 4340.

Kata kunci: pack carburizing , AISI 4340, tandan kelapa, temperatur

PENDAHULUAN

Industri modern sangat bergantung pada material logam untuk berbagai aplikasi, mulai dari konstruksi mesin (Purnama et al., 2016), otomotif, penerbangan, hingga elektronika (Sudarmono et al., 2023). Dalam era globalisasi dan persaingan ketat, terus munculnya tuntutan untuk pengembangan material logam yang lebih unggul baik dari segi kekuatan, ketahanan terhadap korosi, keuletan, maupun sifat-sifat lainnya (Setiawan et al., 2021). Seiring dengan itu, pemahaman mendalam tentang struktur mikro dan sifat mekanik material logam menjadi semakin penting (Suseno et al., 2019).

Baja adalah paduan besi, karbon, dan beberapa unsur lainnya yang digunakan dalam bidang teknik, seperti dalam bentuk lembaran, pelat, pipa batang, profil, dan sebagainya (Mahardika & Hidayat, 2021). Baja paduan rendah, baja paduan menengah, dan baja paduan tinggi adalah klasifikasi jenis baja (Napitupulu et al., 2023).

Baja karbon AISI 4340 adalah salah satu jenis baja paduan menengah yang memiliki kekuatan dan kekerasan yang baik serta

ketahanan yang tinggi terhadap aus dan tekanan. Karena sifat-sifatnya yang unggul, baja ini sering digunakan dalam aplikasi mesin, termasuk roda gigi, poros dan komponen mesin lainnya, di mana kekuatan dan ketahanan terhadap keausan menjadi hal utama (Arifin, 2016; Masoli et al., 2021).

Salah satu metode yang umum digunakan untuk meningkatkan kekerasan permukaan baja adalah melalui proses *pack carburizing* (karburisasi/pengarbonan). Karburisasi adalah proses perlakuan panas di mana karbon ditransfer ke permukaan baja untuk meningkatkan kadar karbon pada lapisan permukaan baja sehingga menghasilkan baja dengan permukaan keras. Proses ini dilakukan dengan memanaskan spesimen pada suhu austenitnya dalam ruang yang mengandung serbuk karbon (Bethony, 2017). Proses ini biasanya diikuti dengan perlakuan pendinginan cepat, juga dikenal sebagai *quenching*, untuk meningkatkan kekerasan permukaan, yang membuatnya lebih tahan aus (Ismail et al., 2022; Mujiyono & Sumowidagdo, 2008).

Proses *pack carburizing* dalam aplikasi baja karbon telah dilakukan dengan berbagai material seperti sekam padi dan tempurung kelapa (Helianto & Rahmadi, 2023; Nurharyanto et al., 2019), limbah cangkang kerang kepah (Yuhardin et al., 2024), batok biji pala (Waas, 2020), kayu leban (Mazuli & Haripriadi, 2020), kayu belian dan kayu akasia (Anhar, 2019), kayu bakau (Kadriadi et al., 2021), dan sebagainya.

Tanaman kelapa (*Cocos nucifera. L*) tumbuh subur di daerah tropis. Indonesia menempati urutan pertama sebagai negara produsen kelapa dunia dengan rata-rata produksi 17,05 ton kelapa atau berkontribusi 27,15%. Pada tahun 2021, Riau menjadi provinsi dengan produksi kelapa terbesar di Indonesia. Enam kabupaten menghasilkan kelapa paling banyak, dengan Kabupaten Indragiri Hilir menyumbang 77,31% dari produksi total. Kabupaten penghasil kelapa lainnya adalah Kabupaten Pelalawan (10,48%), Kabupaten Kepulauan Meranti (8,58%), Kabupaten Bengkalis (1,23%), Kabupaten Rokan Hilir (1,04%), dan Kabupaten Siak (0,43%). Sisanya sebesar 0,93% merupakan kontribusi dari kabupaten lainnya (Zikria, 2023). Produksi kelapa yang lebih tinggi pasti berdampak pada jumlah limbah yang belum termanfaatkan yaitu tandan kelapa (Muhamid et al., 2021).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sifat mekanik proses *pack carburizing* AISI 4340 dengan temperatur kristalisasi 725°C menggunakan karbon tandan kelapa, mengingat sumber bahan baku dari tandan kelapa yang cukup melimpah khususnya di daerah tropis ini.

METODOLOGI

Alat dan bahan yang akan digunakan pada penelitian karburisasi material AISI 4340 ini adalah sebagai berikut : wadah *pack carburizing*, *furnace*, alat uji kekerasan *Rockwell C*, tang jepit, ayakan *mesh* 300, alu, mortar (penumbuk) dan kikir. Bahan yang digunakan meliputi baja AISI 4340, karbon (tandan kelapa) dan katalis (abu cangkang kerang). Metode penelitian ini dimulai dengan identifikasi masalah yang dilanjutkan dengan studi literatur untuk memahami teori dan penelitian terkait. Selanjutnya, peneliti merumuskan hipotesis dan memilih metode penelitian yang sesuai. Data dikumpulkan melalui teknik tertentu, kemudian dianalisis untuk menjawab pertanyaan penelitian

serta menguji hipotesis. Hasil analisis diinterpretasikan untuk menarik kesimpulan dan memberikan saran. Akhirnya, penelitian didokumentasikan dalam laporan atau dipublikasikan untuk menyebarkan hasilnya kepada pihak terkait.

Proses pembuatan spesimen dan media karburisasi dimulai dengan pembuatan spesimen pengujian tarik yang mengikuti pedoman standar uji tarik ASTM E8, dengan satu spesimen dipotong dan dibubut agar sesuai kriteria uji tarik. Untuk pengujian *impact*, spesimen dibuat berdasarkan standar uji *Charpy* dengan gerinda tangan untuk pemotongan dan alat kikir untuk pembentukan takikan. Dimensi spesimen disesuaikan dengan standar ASTM E32 tipe V, yaitu 54x10x10 mm, yang dibentuk menggunakan mesin milling dan takikan dibuat dengan alat kikir. Spesimen untuk pengujian kekerasan dibuat dengan dimensi diameter 19 mm dan tebal 20 mm. Sementara itu, spesimen untuk pengamatan struktur mikro juga memiliki dimensi yang sama, yaitu diameter 19 mm dan tebal 20 mm. Media karbonisasi dibuat dengan tandan kelapa yang telah dikeringkan, kemudian dikarbonisasi dalam *furnace* pada suhu 400°C selama 2 jam. Setelah itu, bahan tersebut dihaluskan menggunakan mortar dan alu, lalu diayak hingga ukuran 300 mesh.

Pada proses pemanasan dan *pack carburizing*, kotak sementasi dibuat dari lembaran plat baja yang dipotong dan di las sehingga membentuk persegi sesuai jumlah spesimen yang akan dikarbonisasi. Kotak ini dirancang agar tahan terhadap suhu 725°C dan rapat untuk mencegah kebocoran. Media karbon dicampur dengan katalis, yaitu serbuk kerang, sebanyak 10% dari berat total. Setelah pencampuran serbuk karbon tandan kelapa sebesar 135 gram dengan katalis 15 gram, campuran diaduk hingga homogen. Baja AISI 4340 dimasukkan ke dalam kotak bersama media karbon, kemudian kotak tersebut ditutup rapat dan dipanaskan pada suhu 725°C selama 120 menit. Setelah pemanasan, spesimen didinginkan pada suhu ruang hingga mencapai temperatur normal.

Setelah karburisasi dan *quenching*, pengujian sifat mekanik dilakukan, meliputi pengujian kekerasan permukaan dengan metode *Rockwell C*, pengujian tarik dengan standar ASTM E8, serta pengujian *impact* menggunakan metode *Charpy* ASTM E32. Pengujian kekerasan permukaan dilakukan pada lima titik

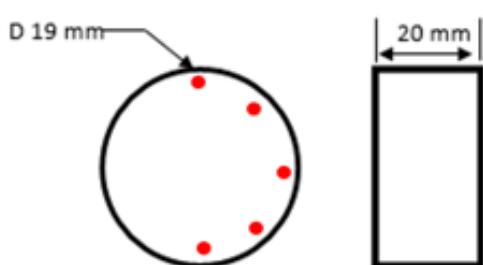
spesimen menggunakan metode *Rockwell C*, dan hasilnya dibandingkan dengan nilai kekerasan bahan sebelum karburisasi. Pengujian *impact* dilakukan dengan menaikkan pendulum hingga sudut 120° , menempatkan spesimen pada *anvil* mesin uji, serta mengamati sudut patahan dan menghitung nilai *impact*. Pengujian tarik mengikuti standar ASTM E8, menghasilkan kurva gaya versus pertambahan panjang yang dikonversi menjadi kurva tegangan versus regangan untuk dibandingkan dengan bahan sebelum karburisasi. Pengamatan struktur mikro dilakukan menggunakan mikroskop triokular pada permukaan spesimen, baik sebelum maupun sesudah proses karburisasi karbon tandan kelapa.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Kekerasan *Rockwell C*

Adapun hasil uji kekerasan pada AISI 4340 menggunakan metode *Rockwell C* dengan masing-masing spesimen dilakukan 5 titik pengamatan. Gambar 1 menggambarkan konfigurasi titik pengujian kekerasan pada spesimen berbentuk silinder dengan diameter 19 mm. Titik-titik merah menunjukkan lokasi pengujian kekerasan pada permukaan spesimen, yang tersebar merata di sepanjang kelilingnya. Selain itu, gambar tampak samping menunjukkan bahwa spesimen memiliki ketebalan sebesar 20 mm.

Distribusi titik pengujian yang merata ini penting untuk memastikan bahwa nilai kekerasan yang diukur mencerminkan sifat material secara keseluruhan, bukan hanya pada satu bagian tertentu. Dengan mempertimbangkan distribusi pengukuran ini, variasi kekerasan yang ditunjukkan pada grafik sebelumnya dapat dikaitkan dengan homogenitas material atau potensi cacat mikrostruktural yang ada di dalam spesimen.

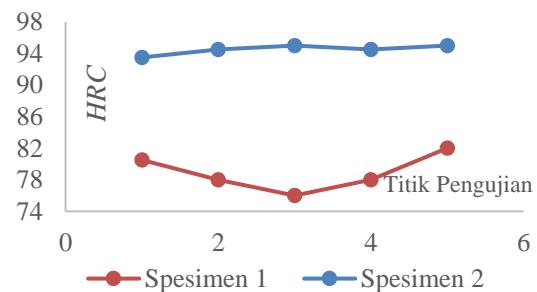


Gambar 1. Titik Pengamatan

Tabel 1. Nilai Kekerasan Spesimen 1 dan Spesimen 2

Spesimen	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	Titik 5	Rata-rata
1	80.5	78	76	78	82	78.9
2	93.5	94.5	95	94.5	95	94.5

Grafik pada gambar 2 menunjukkan perbandingan kekerasan permukaan (HRC) antara Spesimen 1 dan Spesimen 2 pada beberapa titik pengujian. Secara keseluruhan, Spesimen 2 memiliki nilai kekerasan yang konsisten lebih tinggi dibandingkan Spesimen 1, dengan rentang nilai berkisar di sekitar 94 HRC pada semua titik pengujian. Sebaliknya, Spesimen 1 menunjukkan fluktuasi yang lebih signifikan, dengan nilai kekerasan terendah sekitar 74 HRC dan tertinggi sekitar 82 HRC. Tren ini mengindikasikan bahwa Spesimen 2 memiliki sifat material yang lebih homogen dalam hal kekerasan, sementara Spesimen 1 cenderung memiliki variasi kekerasan yang lebih besar di antara titik pengujian. Hasil ini menunjukkan bahwa proses perlakuan atau komposisi material Spesimen 2 lebih unggul dibandingkan Spesimen 1 dalam menjaga kekerasan permukaan.



Gambar 2. Grafik Perbandingan HRC Spesimen 1 dan 2

Pengujian *Impact Charpy*

Spesifikasi mesin uji *impact* dengan masa pendulum 20 kg, panjang lengan 80 cm (0.8 m), dan sudut alpha 120° . Perhitungan perubahan ketinggian (*h*) yaitu:

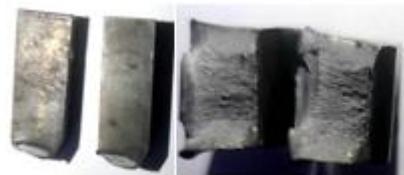
$$\theta_{rad} = 120^\circ \times \frac{\pi}{180^\circ} = \frac{2\pi}{3} \quad (1)$$

$$h = L \times (1 - \cos \theta) \quad (2)$$

$$h = 0.8m \times (1 - \cos \frac{2\pi}{3}) = 1.2m$$

$$PE = m \times g \times h \quad (3)$$

$$\begin{aligned} PE &= 20kg \times 9.81m/s^2 \times 1.2m \\ &= 235.44 Joule \end{aligned}$$



Gambar 4. Patahan Spesimen 2

Tabel 2. Data Hasil Uji Impact

Spesimen	Sudut Alpha	Sudut Beta	Patahan
Serbuk Karbon	120	52	Cup and cone
Tandan Kelapa			
Normal	120	71	Cup and cone

Spesimen 1 adalah spesimen tidak dilakukan *pack carburizing* dengan media serbuk karbon tandan kelapa dan katalis serbuk cangkang kerang dengan persentase 10% katalis.



Gambar 3. Patahan Spesimen 1

Hasil pengujian *impact* seperti pada gambar 3 didapat sudut beta 72° dan jenis patahan *cup and cone* (patahan ulet) yang terjadi ketika material mengalami deformasi plastik sebelum patah. Penampilan fisik patahan ini ditandai dengan patahan berbentuk cekung (mirip cangkir) di satu sisi dan *cone* di sisi lainnya yang berbentuk kerucut.

$$\theta_{rad} = 72^\circ \times \frac{\pi}{180^\circ} = 1.239 \text{ radian}$$

$$\begin{aligned} h2 &= 0.8m \times (1 - \cos(1.239 \text{ radian})) \\ &= 0.5388m \end{aligned}$$

$$\Delta PE = m \times g \times (h1 - h2) \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \Delta PE &= 20 \times 9.81 \times (1.2 - 0.5388) \\ &= 129.72 \text{ Joule} \end{aligned}$$

Spesimen 2 adalah spesimen yang telah dilakukan *pack carburizing* dengan media serbuk karbon tandan kelapa dan katalis serbuk cangkang kerang dengan persentase 10% katalis. Hasil pengujian *impact* didapat sudut beta 52° dan jenis patahan *cup and cone*.

$$\theta_{rad} = 52^\circ \times \frac{\pi}{180^\circ} = 0.907 \text{ radian}$$

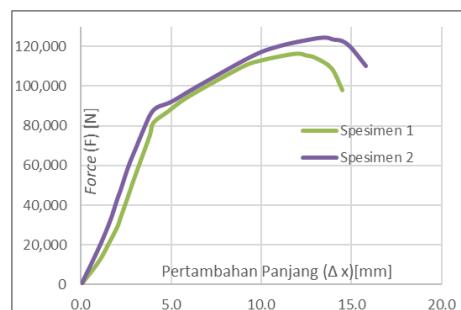
$$\begin{aligned} h2 &= 0.8m \times (1 - \cos(0.907 \text{ radian})) \\ &= 0.3074m \end{aligned}$$

$$\Delta PE = m \times g \times (h1 - h2)$$

$$\begin{aligned} \Delta PE &= 20 \times 9.81 \times (1.2 - 0.3074) \\ &= 175.2 \text{ Joule} \end{aligned}$$

Tabel 3. Data Hasil Uji impact

Spesimen	Sudut Alpha	Sudut Beta	h1 [m]	h2 [m]	Patahan	Harga impact (joule)
Normal	120	71	1.2	0.54	Cup and cone	129.56
Serbuk Karbon Tandan Kelapa	120	52	1.2	0.31	Cup and cone	175.2



Gambar 5. Grafik Force Vs Pertambahan Panjang

Grafik pada gambar 5 menunjukkan hubungan antara gaya (Force, F) dengan pertambahan panjang (Δx) untuk Spesimen 1 dan Spesimen 2. Secara umum, kedua spesimen menunjukkan pola elastis yang hampir identik pada tahap awal, dengan peningkatan gaya seiring bertambahnya panjang hingga mencapai nilai puncak. Spesimen 2 memiliki kekuatan maksimum yang lebih tinggi dibandingkan Spesimen 1, mencapai nilai gaya sekitar 120.000 N sebelum mengalami penurunan tajam, yang mengindikasikan titik leleh atau kegagalan material. Sebaliknya, Spesimen 1 menunjukkan

kekuatan maksimum yang sedikit lebih rendah dan kegagalan material terjadi pada gaya yang lebih kecil.

Hasil ini mengindikasikan bahwa Spesimen 2 memiliki kapasitas menahan beban yang lebih baik, baik dari segi kekuatan maksimum maupun kemampuan mempertahankan deformasi sebelum kegagalan. Hal ini menunjukkan bahwa material pada Spesimen 2 memiliki sifat mekanik yang lebih unggul dibandingkan Spesimen 1, baik dari segi kekuatan maupun ketangguhan.

$$A = \frac{\pi \times d^2}{4} = \frac{\pi \times (12.5\text{ mm})^2}{4} = 122.72\text{ mm}^2$$

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

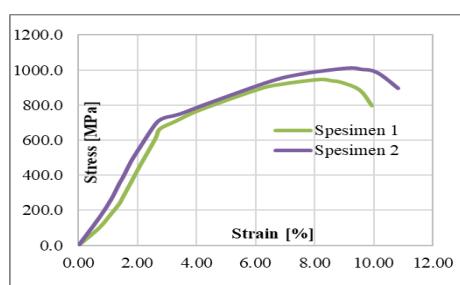
$$\sigma_{U1} = \frac{116.433\text{ N}}{122.72\text{ mm}^2} = 948.8\text{ MPa}$$

$$\sigma_{U2} = \frac{124.300\text{ N}}{122.72\text{ mm}^2} = 1012.9\text{ MPa}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\%$$

$$\varepsilon_{U1} = \frac{12\text{ mm}}{146\text{ mm}} \times 100\% = 8.22\%$$

$$\varepsilon_{U2} = \frac{13.5\text{ mm}}{146\text{ mm}} \times 100\% = 9.25\%$$



Gambar 6. Grafik Stress Vs Strain

Grafik pada gambar 6 menunjukkan hubungan antara tegangan (Stress) dalam satuan MPa dan regangan (Strain) dalam persen untuk Spesimen 1 dan Spesimen 2. Kedua spesimen memiliki pola yang serupa, di mana tegangan meningkat secara linear pada tahap awal, menunjukkan perilaku elastis, sebelum mencapai nilai puncak dan kemudian mengalami penurunan, menandakan kegagalan material.

Spesimen 2 memiliki tegangan maksimum yang lebih tinggi dibandingkan

Spesimen 1, dengan nilai mendekati 1000 MPa, sedangkan Spesimen 1 menunjukkan nilai maksimum yang sedikit lebih rendah, sekitar 900 MPa. Selain itu, Spesimen 2 menunjukkan kemampuan regangan yang lebih tinggi sebelum mencapai kegagalan, mengindikasikan bahwa materialnya lebih tangguh dan mampu menahan deformasi yang lebih besar.

Perbedaan ini menunjukkan bahwa Spesimen 2 memiliki sifat mekanik yang lebih unggul dibandingkan Spesimen 1, baik dari segi kekuatan material (tegangan maksimum) maupun ductility (regangan maksimum). Hasil ini dapat mencerminkan perbedaan dalam komposisi material atau proses perlakuan yang diterapkan pada masing-masing spesimen.



Gambar 7. Patahan Hasil Uji Tarik

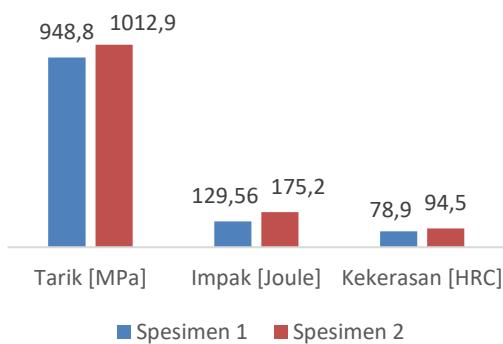
Gambar 7 menunjukkan patahan hasil uji tarik pada Spesimen 1 dan Spesimen 2. Pada Spesimen 1, patahan menunjukkan karakteristik berupa permukaan patahan yang lebih kasar dan bentuk yang cenderung lebih rapuh (brittle). Hal ini mengindikasikan bahwa material pada Spesimen 1 memiliki sifat keuletan (ductility) yang lebih rendah, sehingga tidak mampu menahan deformasi yang signifikan sebelum kegagalan terjadi.

Sebaliknya, Spesimen 2 menunjukkan permukaan patahan dengan karakteristik lebih mulus dan terdapat tanda-tanda deformasi plastis yang lebih jelas. Bentuk patahan ini mengindikasikan bahwa Spesimen 2 memiliki sifat keuletan yang lebih tinggi, memungkinkan material mengalami deformasi yang lebih besar sebelum terjadi patahan.

Perbedaan ini sesuai dengan data tegangan-regangan sebelumnya, di mana Spesimen 2 memiliki regangan maksimum yang lebih tinggi dibandingkan Spesimen 1. Hasil ini menunjukkan bahwa Spesimen 2 lebih unggul dalam sifat mekanik, terutama dalam hal ketangguhan dan keuletan material.

Tabel 4. Data Hasil Pengujian

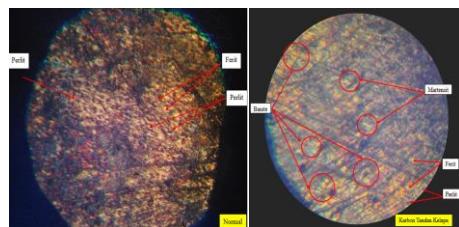
Kekerasan Rata-rata [HRC]	Impact		Stress		Strain	
	[Joule]	[MPa]	Yield [MPa]	Ultimate [MPa]	Yield [%]	Ultimate [%]
78.9	129.56	664.3	948.8	2.74	8.22	
94.5	175.2	726.4	1012.9	2.88	9.25	

**Gambar 8. Data Hasil Pengujian**

Berdasarkan gambar 8 perbandingan kekuatan tarik, energi impak, dan kekerasan (HRC), terlihat bahwa Spesimen 2 memiliki performa mekanik yang lebih unggul dibandingkan Spesimen 1. Spesimen 2 menunjukkan nilai kekuatan tarik yang lebih tinggi, yaitu 1012,9 MPa, dibandingkan Spesimen 1 yang hanya mencapai 948,8 MPa, menandakan kemampuan Spesimen 2 dalam menahan gaya tarik sebelum patah lebih baik. Selain itu, energi impak Spesimen 2 juga lebih besar, mencapai 175,2 Joule, dibandingkan dengan Spesimen 1 yang hanya sebesar 129,56 Joule, mengindikasikan bahwa Spesimen 2 memiliki ketangguhan yang lebih baik dalam menyerap energi selama benturan. Kekerasan Spesimen 2 pun lebih unggul, dengan nilai 94,5 HRC, dibandingkan Spesimen 1 yang hanya mencapai 78,9 HRC, menunjukkan resistensi Spesimen 2 terhadap deformasi plastis lebih tinggi. Secara keseluruhan, keunggulan ini mencerminkan sifat material Spesimen 2 yang lebih tangguh, kuat, dan keras, yang kemungkinan dihasilkan dari perbedaan dalam komposisi material, perlakuan panas, atau proses fabrikasi yang diterapkan.

Struktur mikro dari AISI 4340 bervariasi. Dalam kondisi tanpa perlakuan, baja AISI 4340 akan mengandung *ferrite*, yaitu fase yang bersifat lunak dan ulet, dengan kandungan karbon sangat rendah. AISI 4340 juga akan

mengandung *pearlite*, yaitu campuran *ferrite* dan *cementite* (Fe_3C). *Pearlite* terbentuk selama pendinginan baja setelah pemanasan di atas suhu eutektik, seperti dalam proses penggerolan panas (*hot rolling*). *Pearlite* lebih keras dibandingkan *ferrite* dan memberikan kekuatan tambahan pada baja.

**Gambar 10. Struktur Mikro Spesimen Normal dan Setelah Pack Carburizing**

Setelah *pack carburizing*, permukaan yang mengalami peningkatan kandungan karbon akan membentuk *ferrite* dan *pearlite* selama pendinginan lambat juga terbentuk *martensite* dan beberapa *bainite*.

PENUTUP

Kesimpulan

Sifat mekanik baja AISI 4340 tanpa perlakuan *pack carburizing* memiliki kekerasan permukaan rata-rata 78.9 HRC, kekuatan *impact* 129.56 Joule, kekuatan tarik (*ultimate tensile strength*) 948.8 MPa, patahan akibat pengujian *impact* maupun tarik berbentuk *cup and cone* yang menandakan baja AISI 4340 memiliki sifat mekanik ulet dan struktur mikro terdiri dari *perlite* dan *ferrite*. Baja AISI 4340 setelah dilakukan *pack carburizing* menggunakan media karbon tandan kelapa ukuran butir *mesh* 300 dengan komposisi tambahan katalis abu cangkang kerang 10% memiliki kekerasan permukaan rata-rata 94.5 HRC, kekuatan *impact* 175.2 Joule, kekuatan tarik (*ultimate tensile strength*) 1,012.9 MPa, patahan akibat pengujian *impact* maupun tarik berbentuk *cup and cone* yang menandakan baja AISI 4340 setelah proses *pack carburizing* memiliki sifat mekanik ulet dan struktur mikro yang terbentuk *perlite*, *ferrite* serta *bainite* yang membuat kekerasan permukaan meningkat. Pengaruh serbuk karbon tandan kelapa pada proses *pack carburizing* meningkatkan nilai sifat mekanik dari bahan AISI 4340. Hal ini di buktikan dengan peningkatan nilai kekerasan permukaan 1.04%,

peningkatan kekuatan *impact* 0.57% dan peningkatan kekuatan tarik 0.52%.

DAFTAR PUSTAKA

- Anhar, M. (2019). Proses Karburasi Pada Baja Karbon Rendah Dengan Menggunakan Karbon Arang Kayu Belian Dan Arang Kayu Akasia. Inovtek Polbeng, 9(2), 190. <Https://Doi.Org/10.35314/Ip.V9i2.1001>
- Arifin, E. (2016). Pengaruh Waktu Dan Suhu Pada Karburisasi Padat Terhadap Kekerasan Roda Gigi Baja St37 Dengan Media Arang Batok Kelapa Dan Barium Karbonat. Jurnal Teknik, 5(2). <Https://Doi.Org/10.31000/Jt.V5i2.342>
- Bethony, F. R. (2017). Efek Persentase Barium Karbonat Dengan Arang Tempurung Kelapa Terhadap Kekerasan Baja Karbon AISI 2015. Journal Dynamic Saint, 2(2), 372–379. <Https://Doi.Org/10.47178/Dynamicsaint.V2i2.107>
- Helianto, H., & Rahmadi, H. (2023). Proses Karburasi Padat Pada Baja Karbon Rendah Dengan Temperatur 900 C, 1000 C, Dan 1100 C. Injection: Indonesian Journal Of Vocational Mechanical Engineering, 3(1), 33–39. <Https://Doi.Org/10.58466/Injection.V3i1.989>
- Ismail, N. R., Fadhillah, A. R., Hermawan, D., & Wicaksono, L. H. (2022). Analisa Waktu Pendinginan Terhadap Temperatur Dan Kekerasan Baja St 37. Prosidiawidyasaintek, 01(01), 25–30.
- Kadriadi, Fajrul, R., & Wirakusuma, K. W. (2021). Pengaruh Media Carburizing Antara Arang Tempurung Kelapa Dan Arang Kayu Bakau Terhadap Nilai Kekerasan Baja Karbon Rendah. Jurnal bina wakya, 16(2), 6403–6412.
- Mahardika, S., & Hidayat, M. T. (2021). Pengaruh Media Arang Kayu Jati Pada Proses *Pack carburizing* Terhadap Komposisi Kimia Dan Kekerasan Baja Karbon Rendah. Otopro, 16(2), 44. <Https://Doi.Org/10.26740/Otopro.V16n2.P44-49>
- Masoli, I. M., Supriyadi, S., & Ma'mun, H. (2021). Pengaruh *Quenching* Terhadap Kekerasan Dan Ketangguhan Baja AISI 4340 Pada Proses *Pack carburizing* Dengan Katalis Barium Karbonat (Baco₃) Dan Kalsium Karbonat (Caco₃). Device, 11(1), 45–51. <Https://Doi.Org/10.32699/Device.V11i1.1798>
- Mazuli, S., & Haripriadi, B. D. (2020). Analisa Pengaruh Arang Kayu Bakau, Arang Tempurung Kelapa Dan Arang Kayu Leban Pada Proses *Pack carburizing* Terhadap Kekerasan Baja Karbon St 37. Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi, 3(2), 128–137. <Https://Doi.Org/10.30596/Rmme.V3i2.5275>
- Mujahir, A., Machdar, I., & Mariana, M. (2021). Produksi Karbon Aktif Arang Tempurung Kelapa Menggunakan Kombinasi Metode Aktivasi Secara Kimia Dan Steam Tekanan Rendah. Jurnal Litbang Industri, 11(2), 110. <Https://Doi.Org/10.24960/Jli.V11i2.7104.110-116>
- Mujiyono, & Sumowidagdo, A. L. (2008). Meningkatkan Efektifitas Karburisasi Padat Pada Baja Karbon Rendah Dengan Optimasi Ukuran Serbuk Arang Tempurung Kelapa.
- Napitupulu, R. A., Manurung, M., Manurung, C. S. P., & Peranginangan, S. E. (2023). Pengerasan Permukaan Baja Karbon Rendah Melalui Proses *Pack carburizing* Dengan Menggunakan Arang Cangkang Kemiri. Sprocket Journal Of Mechanical Engineering, 4(2), 126–131. <Https://Doi.Org/10.36655/Sprocket.V4i2.919>
- Nurharyanto, A., Halim, D. A., & Surojo, E. (2019). Perbandingan Nilai Kekerasan Baja Karbon Rendah Pada Proses *Pack carburizing* Dengan Media Arang Sekam Padi Dan Arang Tempurung Kelapa. Teknika: Jurnal Sains Dan Teknologi, 15(1), 39. <Https://Doi.Org/10.36055/Tjst.V15i1.6009>
- Purnama, D., Wardana, G. A., & Adicandra, N. S. (2016). Analisa Kekuatan Mekanik Pada Material AISI 4340 Terhadap Welding Repair Dengan Metode SMAW. Jurnal Poli-Teknologi, 14(3). <Https://Doi.Org/10.32722/Pt.V14i3.766>
- Setiawan, B. F., Helianto, H., & Rahmadi, H. (2021). Penggunaan Karbon Arang Kayu Belian Dan Arang Kayu Akasia Pada Proses Karburasi Padat Baja Karbon Rendah. Injection: Indonesian Journal Of

- Vocational Mechanical Engineering, 1(1), 10–21.
[Https://Doi.Org/10.58466/Injection.V1i1.74](https://Doi.Org/10.58466/Injection.V1i1.74)
- Sudarmono, Kurnia, H., Dwi Wahyuni, A., Adistyani, N., & Arwan Sulaeman, A. (2023). Penggunaan Material Logam Di Berbagai Industri Manufaktur Indonesia: Sistematik Kajian Literatur. Jurnal Industry Xplore, 8(1), 1–9.
- Suseno, I., Pramono, C., & Salahudin, X. (2019). Analisis Pengaruh Waktu Penahanan Pada Proses *Pack carburizing* Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Baja Karbon Rendah Menggunakan Media Arang Tempurung Kelapa. Journal Of Mechanical Engineering, 3(2).
[Https://Doi.Org/10.31002/Jom.V3i2.3374](https://Doi.Org/10.31002/Jom.V3i2.3374)
- Vadiyar, M. M., Bhise, S. C., Kolekar, S. S., Chang, J.-Y., Ghule, K. S., & Ghule, A. V. (2016). Electronic Supplementary Information (Esi) Low Cost Flexible 3-D Aligned And Cross-Linked Efficient Znfe₂O₄ Nano-Flakes Electrode On Stainless Steel Mesh For Asymmetric Supercapacitor.
- Waas, K.-. (2020). Pengaruh Holding Time (Waktu Tahan) Dan Variasi Media *Quenching* (Pendinginan) Terhadap Nilai Kekerasan Baja Karbon Rendah St 42 Pada Proses Pengkarbonan Padat Menggunakan Arang Batok Biji Pala (*Myristica Fagrans*). Jurnal Simetrik, 10(1), 269–278.
[Https://Doi.Org/10.31959/Js.V10i1.361](https://Doi.Org/10.31959/Js.V10i1.361)
- Yuhardin, Ramli, & Sugiyarto. (2024). Pemanfaatan Limbah Cangkang Kerang Kepah (Polymesoda Erosa) Sebagai Katalisator Pada Proses Carburizing. Jurnal inovasi teknologi terapan, 02(02).
- Zikria, R. (2023). Buku Outlook Komoditas Perkebunan Kelapa (A. A. Susanti & R. Kencanaputra, Eds.). Pusat Data Dan Sistem Informasi Pertanian Sekretariat Jenderal Kementerian Pertanian.